

# AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE JUTA\*

Edwillson Gonçalves de Oliveira Filho<sup>1</sup>  
Roberto Tetsuo Fujiyama<sup>2</sup>  
Alisson Clay Rios da Silva<sup>3</sup>  
Verônica Scarpini Candido<sup>4</sup>  
Sergio Neves Monteiro<sup>5</sup>

## Resumo

A utilização de fibras naturais como reforço para compósitos poliméricos substituindo fibras sintéticas vem crescendo nas últimas décadas para diferentes setores industriais devido apresentarem propriedades únicas. Com isso, avaliou-se a produção de materiais compósitos reforçados com fibras vegetais em uma matriz polimérica constituída de resina poliéster insaturada tereftálica. O processo de fabricação realizado foi o manual (hand lay-up), utilizando molde de silicone, na presença de fibras de juta (*Corchorus capsularis* Linn) em forma de fios. Foram determinadas as dimensões e as distribuições de frequência das fibras naturais. A caracterização mecânica dos compósitos foi estudada por meio da realização de ensaios de tração. As fibras utilizadas no experimento estavam na condição *in natura* e tratadas quimicamente. Para a verificação da resistência e rigidez das amostras, foram utilizadas máquinas de ensaio universal AROTEC. Fez-se o ensaio de tração dos corpos-de-prova reforçados com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente, utilizando comprimentos de 5, 10, 15 mm, para frações mássicas variando conforme a capacidade volumétrica do molde. Além disso, foi realizada uma análise fractográfica no microscópio eletrônico de varredura (MEV), para analisar detalhadamente as superfícies de fratura das amostras ensaiadas e entender os mecanismos de falha de cada material. Observou-se uma adesão interfacial muito fraca e não apresentando uma fração mássica apropriada para maximizar as propriedades mecânicas dos mesmos. Os resultados também foram comparados com dados encontrados na literatura, correlacionando com outros trabalhos com fibras vegetais e sintéticas.

**Palavras-chave:** Compósitos, Fibras naturais, Tratamento superficial, Ensaio de tração, Fractografia, Sustentabilidade.

## EVALUATION OF THE MECHANICAL BEHAVIOR OF POLYMERIC COMPOSITES REINFORCED WITH JUTE FIBERS

### Abstract

The use of natural fibers as reinforcement for polymeric composites replacing synthetic fibers has been growing in the last decades for different industrial sectors because they have unique properties. Thus, the production of composite materials reinforced with vegetable fibers was evaluated in a polymer matrix constituted of terephthalic unsaturated polyester resin. The manufacturing process was the hand lay-up, using a silicone mold, in the presence of jute fibers (*Corchorus capsularis* Linn) in the form of yarns. The dimensions and frequency distributions of the natural fibers were determined. The mechanical characterization of the composites was studied through tensile tests. The fibers used in the experiment were in the *in natura* condition and chemically treated. For the verification of the strength and stiffness of the samples, AROTEC universal test machines were used. The tensile test of specimens reinforced with discontinuous fibers and randomly oriented fibers was used, using lengths of 5, 10, 15 mm, for mass fractions varying according to the volumetric capacity of the mold. In addition, a fractographic analysis was performed in the scanning electron microscope (SEM), to analyze in detail the fracture surfaces of the samples tested, in order to understand the fault mechanisms of each material. Very poor interfacial adhesion was observed and did not exhibit an appropriate mass fraction to maximize the mechanical properties thereof. The results were also compared with data found in the literature, correlating with other works with vegetal and synthetic fibers.

**Keywords:** Composites, Natural fibers, Surface treatment, Tensile test, Fractography, Sustainability.

- <sup>1</sup> *Doutorando, Pesquisador, Pós-graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, UFPA, Belém, Pará, Brasil.*
- <sup>2</sup> *Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, UFPA, Belém, Pará, Brasil.*
- <sup>3</sup> *Doutor, Professor, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA, Belém, Pará, Brasil.*
- <sup>4</sup> *Doutora, Professora, Faculdade de Engenharia de Materiais, UFPA, Belém, Pará, Brasil*
- <sup>5</sup> *Doutor, Professor, Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Materiais, IME, Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brasil.*

## 1 INTRODUÇÃO

A utilização de materiais renováveis e biodegradáveis são algumas das opções para melhorar a qualidade de vida em nosso planeta. Entre os diversos recursos naturais estão os materiais lignocelulósicos, dos quais cerca de 2,5 bilhões de toneladas estão disponíveis em nosso planeta, e têm sido usados desde 6000 a.C. [1]. As fibras lignocelulósicas estão disponíveis em muitos desses materiais, que são chamados também de fibras naturais ou fibras vegetais.

O Brasil é grande produtor dessas fibras, assumindo uma posição única entre países sul-americanos, tendo uma área de aproximadamente 8,5 milhões de km<sup>2</sup>, dos quais cerca de 6% são terras aráveis, 22% pastagens permanentes e 58% florestas e bosques [2]. O país também é privilegiado geograficamente por possuir condições climáticas excepcionais e solo fértil para o cultivo de uma grande variedade de espécies de plantas [2].

Diante disso, a utilização de fibras naturais, como reforço para compósitos poliméricos substituindo fibras sintéticas, especialmente fibras de vidro, vem crescendo nas últimas décadas para diferentes setores industriais, tais como embalagens, automóveis e até mesmo no setor da construção [3]. Isto acontece devido, principalmente, às suas características únicas, como abundância, biodegradabilidade, baixa densidade, natureza não tóxica, menos abrasividade aos equipamentos de transformação e propriedades mecânicas úteis, bem como baixo custo [4].

Contudo, as fibras naturais não são uma alternativa livre de desafios. Na prática, existem deficiências que estão relacionadas ao seu elevado grau de absorção de umidade e sua baixa estabilidade dimensional [5]. Por isso, um conhecimento cada vez mais aprofundado sobre todas as características das fibras naturais, tem possibilitado o desenvolvimento de técnicas de tratamentos que permitem solucionar as principais limitações do uso de fibras naturais em materiais compósitos [6]. O tratamento superficial da fibra, por exemplo, visa melhorar as propriedades da interface fibra/matriz de modo a garantir a efetividade desta no desempenho mecânico do compósito.

Para esses materiais, a adesão adequada da interface reforço/matriz é muito importante, já que o reforço irá receber as tensões que irão atuar na sua estrutura. Devido isso, muitos processamentos físico-químicos podem ser utilizados para modificar a superfície do reforço e melhorar sua interface com a fase contínua [7]. Logo, a principal meta dos tratamentos superficiais sobre as fibras naturais é superestimar a força de adesão, para obter uma boa molhabilidade e melhorar a delegação de forças no compósito [8].

COSTA [9] realizou caracterização mecânica de compósitos poliméricos reforçados por fibras de malva e juta e híbridos de malva/juta, ao qual foi utilizado como matriz a resina poliéster. As fibras de malva e juta primeiramente foram analisadas no compósito de acordo com as variações de seus comprimentos de modo a distinguir as características apresentadas pela fibra de malva e juta com relação aos seus respectivos comprimentos de 5, 10 e 15 mm e nas frações mássicas de 11,75%; 8,61% e 5,94%, respectivamente para a fibra de juta e malva. Nos resultados dos ensaios de tração para os compósitos de juta destaca-se a resistência a tração de 23,66 ( $\pm 1,98$ ) MPa, 24,46 ( $\pm 2,20$ ) MPa e 26,25 ( $\pm 2,56$ ) MPa, respectivamente para juta e 19,99 ( $\pm 1,53$ ) MPa, 20,34 ( $\pm 2,16$ ) MPa e 22,79 ( $\pm 2,69$ ) MPa, respectivamente para malva.

COSTA *et al.* [10] desenvolveu pesquisa de materiais compósitos de matriz poliéster e fibras de juta com comprimentos de 5 mm, 10 mm, 15 mm e 20 mm. As

frações mássicas usadas nos materiais compósitos foram de 9,80% (5 mm), 9,56% (10 mm), 7,77% (15 mm) e 7,50% (20 mm). Os ensaios de tração revelaram que os materiais compósitos com fibras de 15 mm e 20 mm de comprimento apresentaram limites de resistência superiores aos de 5 mm e 10 mm. Os valores dos limites de resistência obtidos foram de 30,57 MPa para o material compósito com fibras de 15 mm e 25,34 MPa para o material compósito com fibras de 20 mm de comprimento.

GOPINATH *et al.* [11] pesquisaram materiais compósitos de resinas poliéster e epóxi reforçados com fibras de juta de comprimento de fibra de 5 e 6 mm. Os compósitos foram sintetizados na razão de 18/82 percentagens em peso de fibras/resina. Os materiais compósitos preparados foram ensaiados para estudar as propriedades mecânicas de resistência à tração e resistência à flexão. Destaca-se o resultado de resistência a tração que foi de 12,46 MPa para matriz epóxi e 9,23 MPa para matriz poliéster. Enquanto que o resultado de resistência a flexão que foi de 39,08 MPa para matriz epóxi e 44,71 MPa para matriz poliéster.

RAY *et al.* [12] pesquisaram as propriedades mecânicas de materiais compósitos de matriz de resina viniléster reforçada por fibras de juta de 50 mm de comprimento, nas frações volumétricas de fibras de 8%, 15%, 23%, 30% e 35%. Os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão de acordo ASTM D790M e observou-se que a resistência a flexão aumenta com a inclusão de fibras na matriz.

LIU *et al.* [13] estudaram as propriedades mecânica de biocompósito de matriz Poli (succinato de butileno) com reforço de fibras de juta variando de 2-3 mm no comprimento e fração mássica de 10%, 20% e 30% em peso, os corpos de prova foram ensaiados em flexão. Observou-se com os resultados que a resistência a flexão atingiu o valor mais elevado na fração mássica de 20% em peso.

BRAGA [14] desenvolveu pesquisa com materiais compósitos de matriz epóxi na presença de fibras de juta e de sisal com frações volumétricas de 20%. A pesquisa envolvia a possibilidade de aplicação industrial para estes materiais compósitos. Os materiais compósitos com reforço de fibras de juta apresentaram resistência à tração de 32,70 MPa e os materiais compósitos na presença de fibras de sisal apresentaram resistência à tração de 30,49 MPa.

HU *et al.* [15] observaram a resistência a tração de material compósito de matriz de resina de ácido polilático reforçada por fibras de juta de 10 e 15 mm de comprimento, os compósitos foram obtidos na fração volumétrica de 30%, 40% e 50%. O teste de envelhecimento das amostras de tração foi submetida em 24 h, 72 h e 120 h, exposta ao vapor saturado a 70°C, em seguida, as amostras secaram-se num forno com ventilação. Para estimar o efeito do envelhecimento sobre a resistência à tração se realizou ensaios de tração. Entre os resultados, observou-se que a resistência à tração caiu de 36,29 MPa para 2,5MPa após período de envelhecimento de 120 horas.

SILVA *et al.* [16] em sua pesquisa em materiais compósitos de matriz poliéster e fibra juta de 10 e 50 mm, os corpos de prova foram submetidos a ensaio de tração, nos resultados da pesquisa destaca-se os valores respectivos de 11,05 ( $\pm 0,73$ ) MPa e 17,32 ( $\pm 1,73$ ) MPa para os compósitos de matriz poliéster de 10 mm e 50 mm.

No trabalho de RAY *et al.* [17] fibras de juta foram modificadas em solução de NaOH a 5% por 4h e 8h a 30 °C. Após a modificação ocorreu a desfibrilação e redução da densidade das fibras. Os autores concluíram que a cristalinidade aumentou após 8h de tratamento, resultando em aumento na resistência à tração e módulo de elasticidade, e diminuição do alongamento na ruptura.

RODRIGUEZ *et al.* [18] avaliaram o efeito do tratamento alcalino nas propriedades mecânicas em compósitos com resina éster vinílica e das fibras de juta. Os autores concluíram que a resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras apresentou uma queda acentuada nestas propriedades com o tratamento, devido à destruição da parede celular e extração excessiva de lignina e hemicelulose. Além disso, compósitos reforçados com fibras de juta tratadas apresentaram comportamento frágil com baixa resistência a flexão e impacto.

SAHA *et al.*, [19] estudaram o efeito sobre a resistência à tração e dimensões da fibra de juta sob tratamento alcalino com NaOH em concentrações variando de 0,5 a 18%, à temperatura ambiente e a 90 °C, com tempo de imersão das fibras na solução variando de 30 minutos a 24 horas. Posteriormente parte das fibras foram ainda submetidas a vapor a 103 kPa, a 125 °C, por períodos de 30 a 90 minutos. Os resultados indicaram que o diâmetro das fibras de juta foi diminuído em 23,4% após tratamento alcalino a 4%, à temperatura ambiente. Do mesmo modo para 30 minutos de tratamento com solução alcalina de 1% a 90 °C observou-se uma redução de diâmetro de 32,1% em relação ao diâmetro médio das 42 fibras não tratadas. O tratamento por 30 minutos com solução alcalina a 0,5% seguido pelo tratamento com vapor reduziu o diâmetro médio das fibras de juta em 38,2%.

Quanto à resistência à tração uniaxial das fibras, o tratamento com NaOH a 4% durante 30 min à temperatura ambiente incrementou a resistência em 50% em relação às fibras não tratadas (370 ± 134 MPa) e o alongamento de ruptura foi incrementado em 54%. Foi verificado um aumento de 40% para a resistência à tração uniaxial, após o tratamento a 90° C com NaOH a 1% durante 30 minutos, em comparação com a das fibras não tratadas, com aumento correspondente no alongamento de ruptura de 23%. O tratamento alcalino seguido do tratamento com vapor a 125° C produziu um incremento de 65% na resistência à tração das fibras de juta, comparado à resistência das fibras não tratadas, com elevação do alongamento até a ruptura em 38%.

PANTAMANATSOPA *et al.* [20] estudaram o efeito da adição de fibras de juta na matriz de resina de borracha natural, as fibras foram cortadas no comprimento de 10 mm e suas frações mássicas variaram de 0%, 10%, 20% e 40% em peso. Os corpos de provas foram submetidos ao ensaio de tração. As fibras de juta receberam tratamentos e nos resultados se destacam os valores de 8,9 MPa e 19MPa para resistência a tração para a fração mássica de 10% em peso.

Neste trabalho, para a verificação da resistência a tração das amostras, foram utilizadas máquinas de ensaio universal AROTEC. Fez-se o ensaio de tração das amostras reforçadas com fibras descontínuas e orientadas aleatoriamente, utilizando comprimentos de 5, 10, 15 mm. Além disso, foi realizada uma análise fractográfica no microscópio eletrônico de varredura (MEV), para analisar detalhadamente as superfícies de fratura das amostras ensaiadas. Os resultados também foram comparados com dados encontrados na literatura, correlacionando com outros trabalhos com fibras vegetais e sintéticas.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

#### 2.1.1 Resina Poliéster

O polímero utilizado no desenvolvimento do trabalho foi a resina poliéster tereftálica insaturada fabricada pela Ara Química S.A. sob a denominação comercial

de Arazyn AZ 1.0 # 34. O agente de cura utilizado foi o peróxido de MEK (PERMEC D-45), nas proporções de 1% (v/v).

### 2.1.2 Fibras Naturais

As fibras vegetais de juta foram obtidas no comércio da cidade de Belém-PA. Inicialmente, as fibras naturais foram utilizadas na forma como foram adquiridas, na condição *in natura*, sem tratamento químico. Foram cortadas em três comprimentos diferentes: 5 mm, 10 mm e 15 mm. Os comprimentos desejados foram obtidos através do corte manual (com tesoura) a partir dos feixes de fibra.

## 2.2 Procedimento experimental

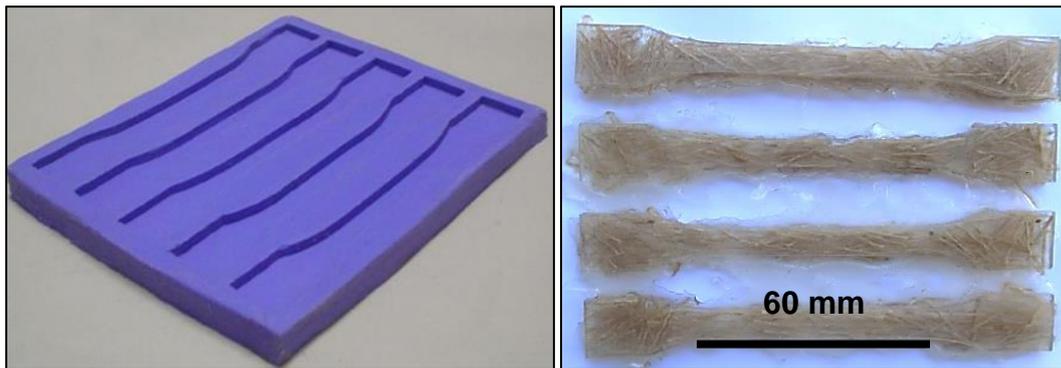
### 2.2.1 Tratamento químico das fibras naturais

Utilizou-se para o tratamento de mercerização em solução em água destilada de 10% de hidróxido de sódio (NaOH), inserida numa cuba ultrassônica, durante um período de 1h, à temperatura ambiente. Após os tratamentos, as fibras foram neutralizadas com sucessivas lavagens em água destilada e secas a temperatura ambiente (25,8°C) e umidade de 50% por 48 horas. Nessas condições, a secagem aconteceu naturalmente e a estufa não foi necessária devido à pequena quantidade de fibras tratadas. Durante o tratamento, a razão entre massa de fibras (g) por volume de solução (mL) foi em média de 0,1 à 0,075 g/mL.

### 2.2.2 Fabricação dos corpos de prova

Os corpos de prova foram fabricados por moldagem manual utilizando-se moldes de silicone e sem pressão. O processo se iniciou pelo tratamento da superfície do molde pela aplicação de um produto desmoldante, para remoção da peça após o processo de cura. A fração mássica de cada tipo de reforço utilizado na fabricação dos corpos de prova desta pesquisa foi definida pela capacidade volumétrica do molde em acomodar o reforço sem pressão ou compactação e na ausência da matriz. Para cada tipo de reforço, com comprimento de fibra de 5, 10 e 15 mm, os moldes de tração foram cheios com o reforço até o limite de sua capacidade volumétrica, sem pressão ou vibração mecânica.

Em seguida, cada quantidade de reforço foi devidamente pesada e o valor da massa obtida, convertida em fração mássica, estabeleceu-se como sendo a referência de incorporação e trabalhabilidade para a fabricação de compósitos sem pressão. A partir deste valor de referência, foram prescritas as proporções a serem utilizadas nos compósitos. Determinados os valores de referência para a fração mássica, os corpos de prova foram fabricados para a avaliação da trabalhabilidade da mistura no estado líquido, estimando sua moldabilidade e a molhabilidade da matriz sobre os reforços envolvidos (Figura 1).



**Figura 1.** (a) Molde de silicone para moldagem dos corpos de prova de tração; (b) corpos de prova confeccionados.

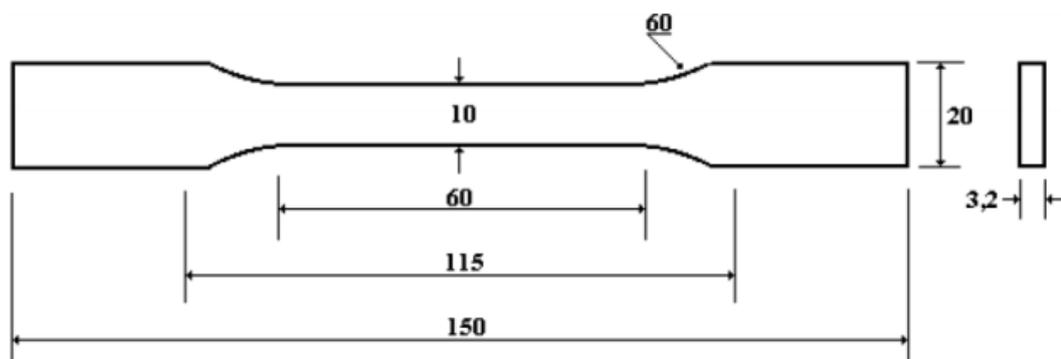
A partir deste procedimento, foram estabelecidas as proporções do compósito de reforço das fibras com as frações mássicas apresentadas na Tabela 1. Para quatro corpos de prova (capacidade máxima de cada molde), foi utilizado 63,905 g de matriz (resina poliéster e 1% de MEK). Momentos antes da fabricação dos corpos de prova, as fibras foram submetidas em estufas com temperatura de 60°C durante 10 minutos.

**Tabela 1.** Frações mássicas das fibras de juta utilizadas nas confecções dos corpos de prova.

Comprimento de fibras (mm)	5	10	15
Tipos de fibras naturais	Fração mássica (%)		
Juta	11,75	8,61	5,94

### 2.2.3 Caracterização Mecânica

Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma ASTM D638 tipo 1 [21] e seguiram as medidas como pode ser observado no desenho na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** 2. Os corpos de prova foram fabricados a partir de moldes de silicone para os ensaios com matriz pura e matriz reforçada com fibras curtas. Foram produzidos 8 corpos de prova para cada comprimento e condição da fibra.



**Figura 2.** Dimensões (em mm) dos corpos de prova para ensaio de tração (sem escala) segundo a norma ASTM D638 tipo 1.

Os ensaios foram realizados em uma máquina de ensaio universal AROTEC com célula de carga de 5kN, a uma velocidade de ensaio de 5 mm/min.

### 2.2.4 Análise microscópica e fractográfica

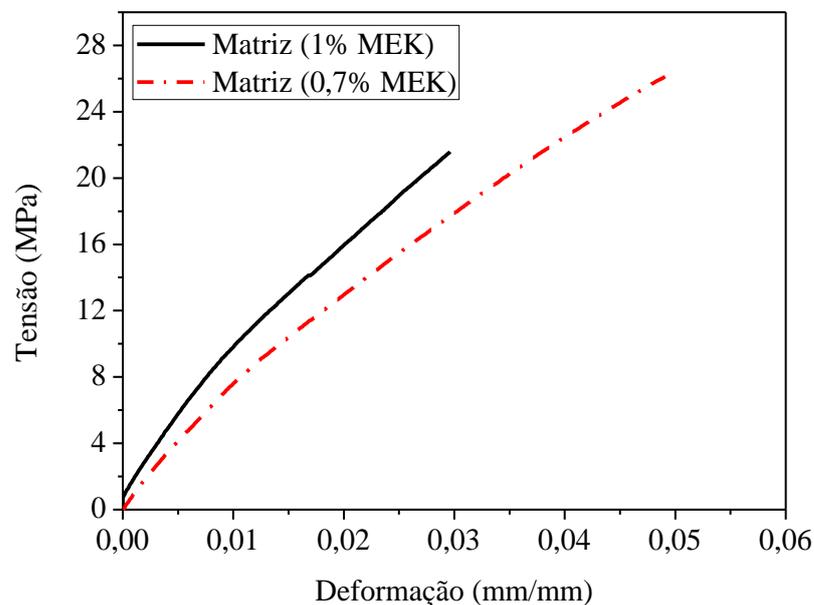
Foram determinadas as dimensões equivalentes da fibra natural e as suas distribuições de frequência através de um microscópio óptico, proporcionando a visualização de tamanhos diferentes em diversos pontos ao longo da fibra.

Após a realização dos ensaios mecânicos, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram metalizadas e analisadas de forma a se estudar os mecanismos de falha de cada composição fabricada. A morfologia da superfície de fratura foi feita por microscopia eletrônica de varredura (MEV) modelo VEJA 3 SBU da TESCAN.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Corpos de prova de matriz plena

Pode-se observar com os resultados de ensaios de tração das amostras de poliéster sem reforço, que as variações dos percentuais dos agentes de cura influenciaram nas propriedades mecânicas dos mesmos. Os percentuais de 1,0% (v/v) de agente de cura (recomendação do fabricante) apresentou maior rigidez comparado com os de 0,7% (v/v). Contudo, os valores de resistência a tração e deformação foram maiores das amostras com percentuais de MEK de 0,7%. As curvas apresentadas na Figura 3 mostram que a matriz de poliéster apresenta um comportamento relativamente dúctil quando ensaiada em tração, porém com fratura brusca, sem capacidade de absorção de energia após a fissura da matriz.



**Figura 3.1** Gráfico comparativo (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico da matriz de poliéster insaturada teraftálica com agente de cura (MEK) nas proporções de 1% e 0,7% (v/v).

### 3.2 Compósitos de poliéster reforçados com fibras de juta

Observando o comportamento mecânico dos compósitos reforçados com juta com comprimento de 15 mm apresentaram maiores desempenhos mecânicos comparados aos de outros comprimentos de fibras. O compósito reforçado com juta (in natura) com comprimento de 15 mm, apresentou maior resistência a tração

dentre todos os outros, sendo ligeiramente próximo em relação a matriz pura; e apresentou também o maior módulo de elasticidade entre todos os comprimentos de juta, incluindo a matriz pura. (Tabela 2). Porém, com o tratamento químico, somente a rigidez do compósito reforçado com juta de comprimento de 10 mm foi maior que o *in natura*, embora tendo sido muito menor que o módulo da matriz pura. (Figura 4 e 5).

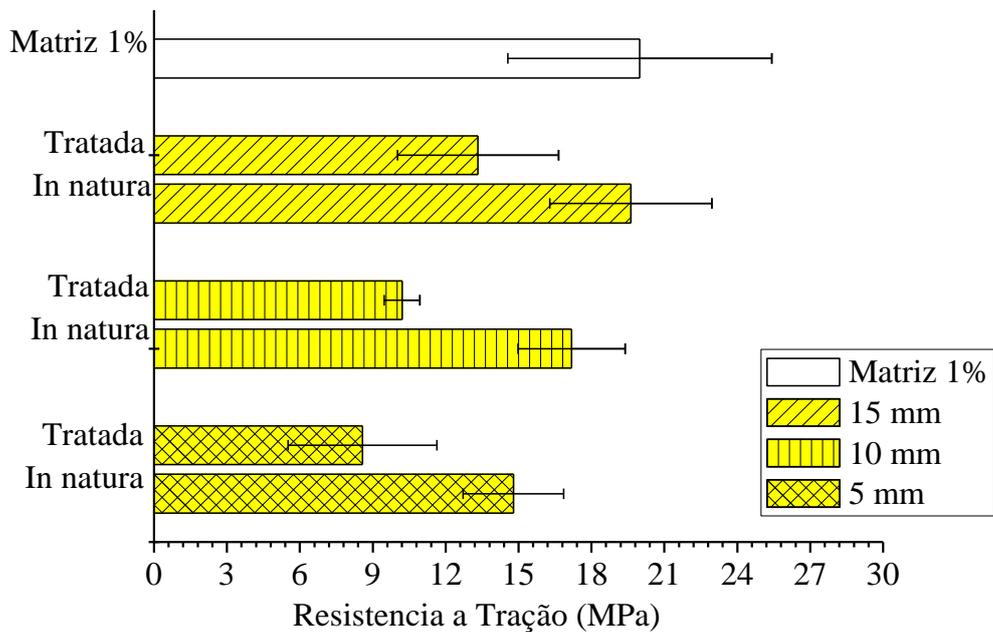
No caso dessas fibras, vale ressaltar que o inchamento dos fios das fibras, podem ter gerado no interior dos fios regiões não molhadas, ocasionando regiões de porosidade crescente nos compósitos de juta, sobretudo os tratados quimicamente. Assim, isso pode ter contribuído para a diminuição da propriedade mecânica dos compósitos reforçados com fibras de juta. Além disso, o aumento do desalinhamento estrutural dos filamentos e desagregação dos feixes de fibras com o tratamento químico pode também justificar a baixa resistência mecânica desses materiais

**Tabela 2.** Resultado dos ensaios de tração das amostras de compósitos de poliéster reforçados com fibras de juta

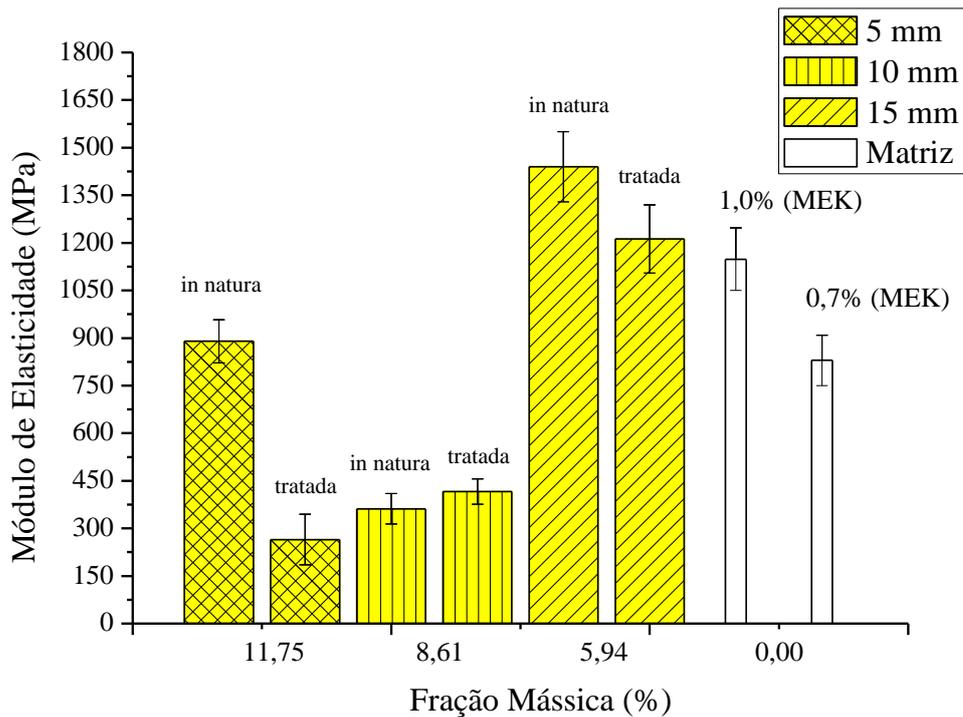
Matriz	Temp. de fabricação (°C)	Fração mássica (%)	Comp. da fibra (mm)	Resistência a tração (MPa)	Fonte
Poliéster	25	11,75	5	23,66 ( $\pm$ 1,98)	COSTA [9]
		9,80		19,55	COSTA et al. [10]
Poliéster		18		9,23	GOPINATH et al. [11]
Epóxi		-	-	12,46	GOPINATH et al. [11]
Poliéster		8,61	10	24,46 ( $\pm$ 2,20)	COSTA [9]
		9,56		21,28	COSTA et al. [9]
Poliéster		-		11,05 ( $\pm$ 0,73)	SILVA et al. [16]
		5,94		15	26,25 ( $\pm$ 2,56)
Epóxi		7,77	15	30,57	COSTA et al. [10]
		20 (Fração volumétrica)	-	32,70	BRAGA [14]
Ácido polilático	70	30 (Fração volumétrica)	15	36,29	HU et al. [15]
borracha natural	25	10 (com tratamento)	10	8,9	PANTAMANATSOPA et al. [20]
		10 (sem tratamento)		19	
Éster vinílico		Tratamento	-	Queda na resistência à tração e módulo de elasticidade, apresentaram comportamento frágil.	RODRIGUEZ et al. [18]
Viniléster		Tratamento (5% NaOH – 30°C)	Desfibrilação e redução da densidade das fibras.	Aumento na resistência à tração e módulo de elasticidade, e diminuição do	RAY et al. [17]

alongamento  
na ruptura.

Poliéster	In natura	11,75	5	$14,79 \pm 2,08$	Autor
	Tratada			$8,57 \pm 3,06$	
	In natura	8,61	10	$17,17 \pm 2,21$	
	Tratada			$10,20 \pm 0,73$	
	In natura	5,94	15	$19,62 \pm 3,34$	
	Tratada			$13,33 \pm 3,32$	



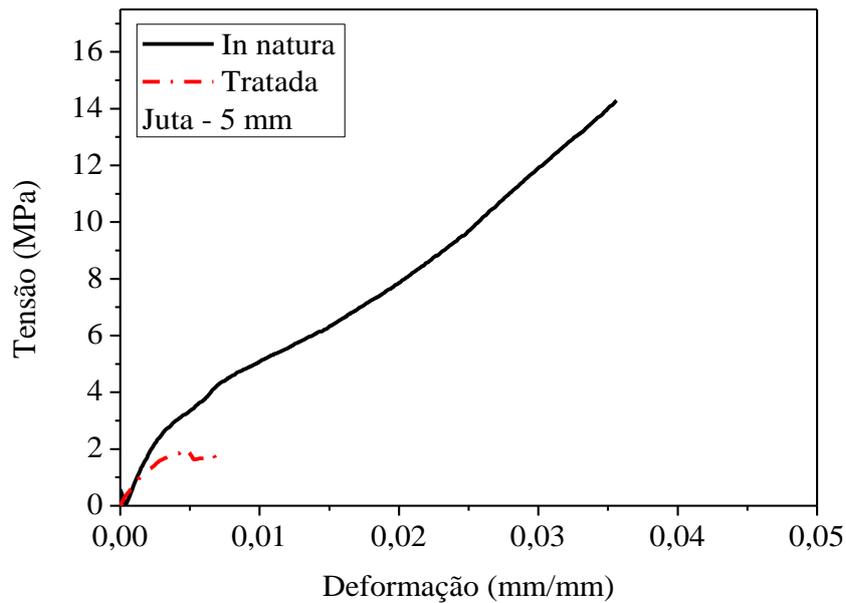
**Figura 4.** Gráfico comparativo que ilustra o comportamento mecânico da matriz e dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta nas condições in natura e tratadas quimicamente, com comprimento 5 mm, 10 mm e 15 mm.



**Figura 5.** Gráfico comparativo que ilustra a relação módulo de elasticidade (MPa) versus fração mássica (%) dos compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta nas condições in natura e tratadas quimicamente, com comprimento 5 mm, 10 mm e 15 mm.

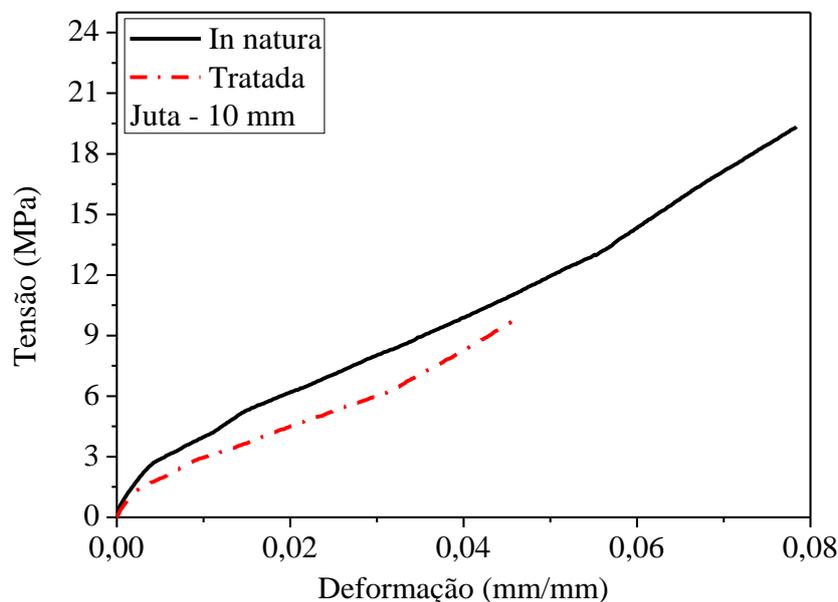
As propriedades mecânicas de tração do experimento foram menores que de COSTA [9], o qual realizou ensaios de tração de compósitos poliméricos reforçados por fibras de juta, utilizando a mesma matriz, os mesmos comprimentos de filamento e as mesmas frações mássicas para as fibras. Nos resultados dos ensaios de tração para os compósitos de juta para comprimentos de 5, 10 e 15 mm, o autor reporta a resistência a tração de 23,66 ( $\pm 1,98$ ) MPa, 24,46 ( $\pm 2,20$ ) MPa e 26,25 ( $\pm 2,56$ ) MPa, respectivamente.

Contudo, as resistências a tração para comprimento de 5 mm foram maiores que as encontradas por GOPINATH *et al.* [11], o qual trabalhou com fração mássica de 18%, tanto para matriz de epóxi quanto de poliéster. Segundo RAY *et al.* [12], com o aumento da fração mássica de fibras de juta nos compósitos com matriz de viniléster, as propriedades mecânicas dos mesmos aumentam. Para LIU *et al.* [13], com o aumento da fração mássica de fibras de juta de 10% para 20%, houve também um aumento nas propriedades mecânicas dos biocompósitos. Apesar disso, o compósito poliéster reforçado com juta para comprimento de 5 mm ter apresentado maior fração mássica, a sua propriedade mecânica geral diminuiu (Figura 6).



**Figura 6.** Gráfico comparativo (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de juta nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 5 mm.

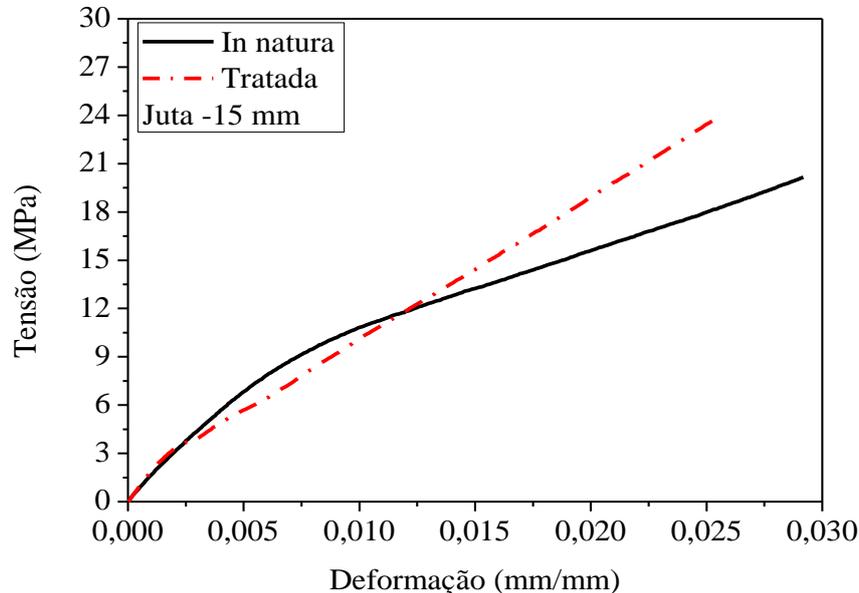
Para compósitos com comprimentos de reforço de 10 mm, as resistências a tração dos compósitos deste experimento foram maiores que de SILVA *et al.* [16]. Propriedades mecânicas também foram superiores a PANTAMANATSOPA *et al.* [20], os quais estudaram o efeito da adição de fibras de juta tratadas quimicamente com comprimentos de 10 mm, porém com matrizes poliméricas diferentes (Figura 7)



**Figura 7.** Gráfico comparativo (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de juta nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 10 mm.

Para comprimento de reforço de 15 mm, a resistência a tração foi menor que COSTA *et al.* [10], o qual resistiu 30,57 MPa, sendo justificável pela utilização de

uma fração mássica de 7,77% (Figura 8). Para BRAGA [14] e HU *et al.* [15], que trabalharam com compósitos de ácido polilático e epóxi reforçados com fibras de juta com fração volumétrica de 20% e 30%, as suas propriedades mecânicas foram de 32,70 e 36,29 MPa, maiores que os valores encontrados no experimento.



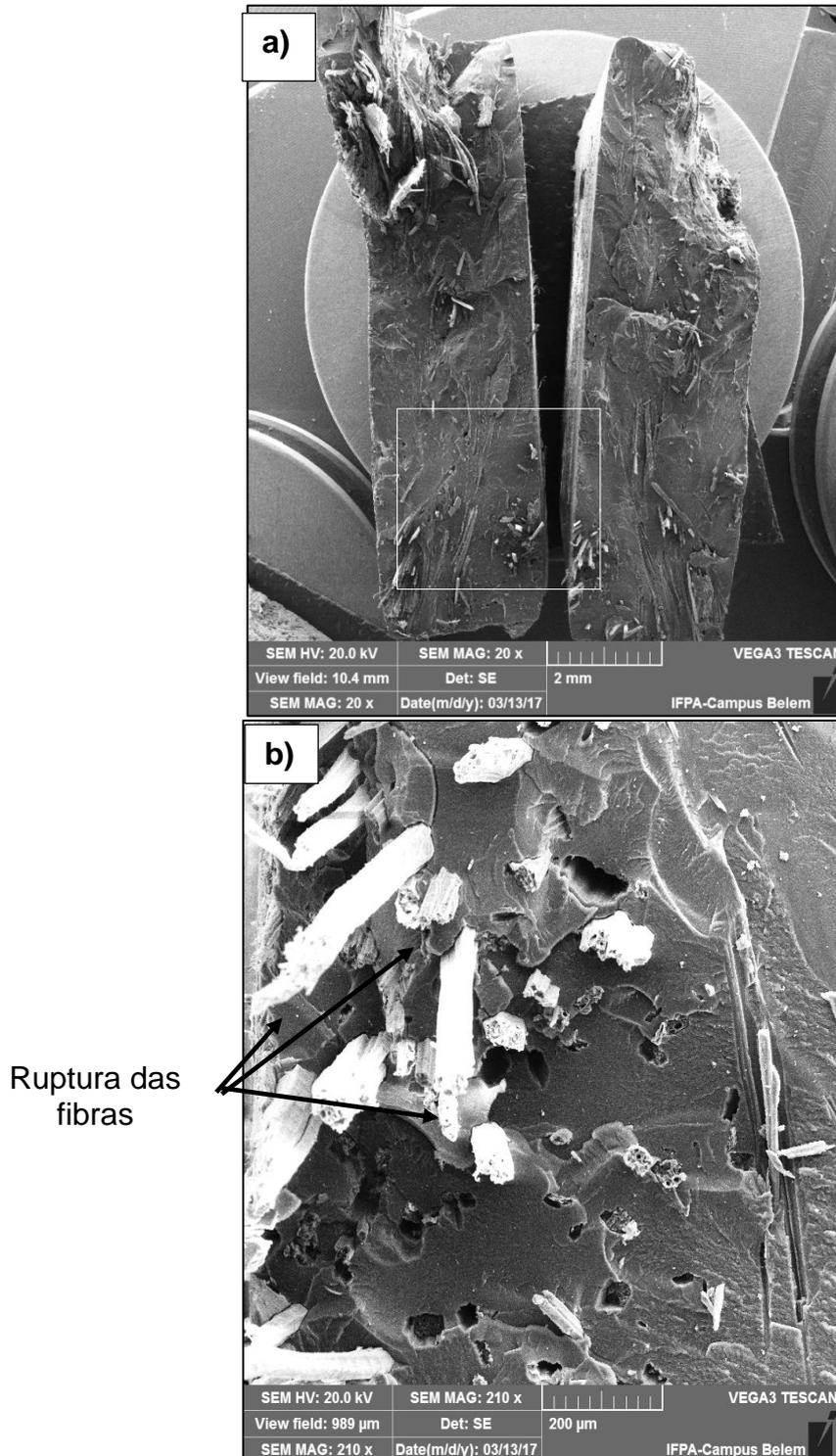
**Figura 8.** Gráfico comparativo (tensão versus deformação) que ilustra o comportamento mecânico do compósito polimérico reforçado com fibras de juta nas condições in natura e tratadas quimicamente, orientadas aleatoriamente com comprimento de 15 mm.

Para compósitos reforçados com fibras tratadas, RAY *et al.* [17] concluiu que para tratamentos alcalinos em fibras de juta durante 8h, sem agitação e a 30°C, há um aumento da cristalinidade, devido a retirada de impurezas e substâncias amorfas (lignina) da estrutura das fibras, a qual resultou em melhorias nas propriedades mecânicas dos filamentos. SAHA *et al.*, [19] também estudaram os efeitos sobre a resistência à tração e dimensões da fibra de juta sob tratamento alcalino com NaOH em concentrações e tempos variados, com posteriores tratamentos a vapor de 103 kPa, a 125 °C, por períodos de 30 a 90 minutos. Com o aumento do percentual de concentração de NaOH seguido do tratamento a vapor a 125° C, houve um aumento na resistência a tração e alongamento dos filamentos.

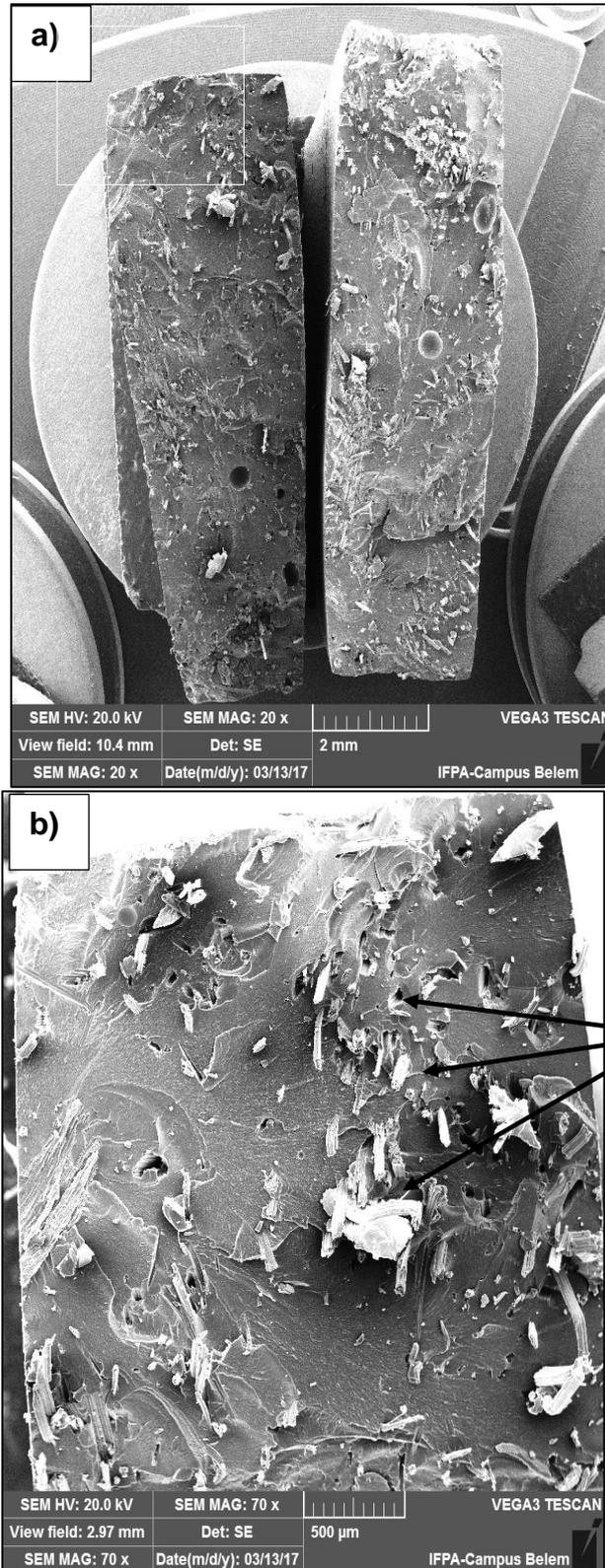
Contudo, para RODRIGUEZ *et al.* [18] esse comportamento foi diferente. Estes avaliaram o efeito do tratamento alcalino nas propriedades mecânicas em compósitos com resina éster vinílica e das fibras de juta. Os autores concluíram que a resistência à tração e módulo de elasticidade das fibras apresentou uma queda acentuada nestas propriedades com o tratamento, devido à destruição da parede celular e extração excessiva de lignina e hemicelulose. Além disso, compósitos reforçados com fibras de juta tratadas apresentaram comportamento frágil com baixa resistência a flexão e impacto. Isso foi coerente e certamente explica os resultados desse experimento que obteve compósitos reforçados com juta tratada quimicamente com quedas expressivas nas propriedades mecânicas dos compósitos.

Com as micrografias das superfícies de fratura dos compósitos, ficam mais evidentes as relações das adesões interfaciais fibra/matriz. Assim como GOPINATH *et al.* [11], SILVA [16] e RODRIGUES [22] mostraram em seus experimentos, foram

observadas algumas regiões com aglomerados e *pull out* das fibras na superfície fraturada, além da presença de descolamento da matriz à fibra, tanto na in natura quanto na tratada, a qual resultou em uma fraca adesão entre fibra/matriz, sendo comprovada pelos vazios correspondentes ao desprendimento da fibra em relação à matriz, justificando finalmente a redução considerável da resistência do material compósito reforçado com fibras de juta.



**Figura 9.** Micrografias das superfícies de fratura das amostras de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Juta (in natura) orientados aleatoriamente com comprimento de 15 mm: (a) ampliação de 20x, (b) ampliação de 140x.



**Figura 10.** Micrografias das superfícies de fratura das amostras de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Juta (tratamento alcalino) orientados aleatoriamente com comprimento de 15 mm: (a) ampliação de 20x, (b) ampliação de 70x.

### 3 CONCLUSÃO

Os compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta com comprimento de 15 mm apresentaram maiores desempenhos mecânicos relativos. O compósito reforçado com juta (*in natura*) com comprimento de 15 mm, apresentou maior resistência a tração dentre todos os outros, sendo ligeiramente próximo em relação a matriz pura; e apresentou também o maior módulo de elasticidade entre todos os comprimentos de juta, incluindo a matriz pura. Porém, com o tratamento químico, somente a rigidez do compósito reforçado com juta de comprimento de 10 mm foi maior que o *in natura*, embora tendo sido muito menor que o módulo da matriz pura.

Os resultados mostraram algumas regiões com aglomerados e *pull out* das fibras na superfície fraturada, além da presença de descolamento da matriz à fibra, tanto na *in natura* quanto na tratada. A última resultou em uma fraca adesão entre fibra/matriz, sendo comprovada pelos vazios correspondentes ao desprendimento da fibra em relação à matriz, justificando, finalmente, a redução considerável da resistência do material compósito reforçado com fibras de juta tratadas quimicamente.

### Agradecimentos

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo auxílio financeiro e ao Instituto Federal do Pará (IFPA) por permitir a utilização dos laboratórios.

### REFERÊNCIAS

- 1 KOZLOWSKI, R.; RAWLUK, M.; BARRIGA, J.; State of the art-production, processing and applications of fibrous plants. In: Sivam RL, Araújo RC, editors. 2nd international conference on textile engineering (SINTEX-2004) Proceedings, September 7–11; Natal, in CD-ROM, Paper No.TIP-1-007. 2004.
- 2 SATYANARAYANA, K. G.; GUIMARÃES, J. L.; WYPYCH, F. Studies on Lignocellulosic fibers of Brazil.Part I: Source, producton, morphology, properties and applications. Composites. Part A: applied science and manufacturing. 38, 1694-1709, 2007.
- 3 WAMBUA, P.; VANGRIMDE, B.; LOMOV, S.; & VERPOEST, I. The response of natural fibre composites to ballistic by fragment simulating projectiles. Composite structures. 77, 232-240, (2007).
- 4 MONTEIRO, S.N.; AQUINO, R.C.M.P.; LOPES, F.P.D.; D'ALMEIDA, J.R.M. Tenacidade ao entalhe por impacto Charpy de compósitos de poliéster reforçados com fibras de piaçava. Matéria vol.11 no. 3. Rio de Janeiro – RJ. July / Sept. 2006.
- 5 LEVI NETO, F. PARDINI, L. C. Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.1. Ed. São Paulo: Blucher, 2006.
- 6 CASTRO, B. F. M. Estudo e Caracterização Mecânica de Compósitos Reforçados com Fibras Naturais. Dissertação de mestrado. Instituto Superior de engenharia do Porto. Porto - Portugal. 2013.
- 7 D'ALMEIDA, A.L.F.; D'ALMEIDA, S, J. R. M.; D. W. BARRETO; V. CALADO. Effect of surface treatments on the thermal behavior and tensile strength of piassava fibers. Journal of Applied Polymer Science, Vol. 120, 2508–2515. 2011.
- 8 KABIR, M., WANG, H., LAU, K., & CARDONA, F. Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview. Composites Part B: Engineering, 43, 2883–2892, 2012.
- 9 COSTA, T.A.V. Caracterização Mecânica de Compósitos Poliméricos Reforçados por Fibras de Malva e Juta e Híbridos de Malva/Juta .Belém, 53f. Trabalho de Conclusão

- de Curso (Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- 10 COSTA, D. S.; EL BANNA, W. R.; LIMA, L. S.; ALMEIDA, L. M. ; SANTOS, E. J. S. ; LOPES, C. E. P.; FUJIYAMA, R. T Compósitos de fibras de juta e matriz poliéster. In: 68 Congresso da ABM Internacional, 2013, Belo Horizonte.: ABM, 2013b.
  - 11 GOPINATH, A.; KUMAR.M, S.; ELAYAPERUMAL A. Experimental Investigations on Mechanical Properties Of Jute Fiber Reinforced Composites with Polyester and Epoxy Resin Matrices. Procedia Engineering, n. 97, p.2052 – 2063, 2014.
  - 12 RAY, D.; SARKARA, B.K.; RANAB, A.K.; BOSEC, N.R. The mechanical properties of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali-treated jute fibres. Composites: Part A, n. 32, p. 119–127, 2001.
  - 13 LIU, L.; YU, J.; CHENG, L.; QUA, W. Mechanical properties of poly(butylene succinate) (PBS) biocomposites reinforced with surface modified jute fibre. Composites: Part A, n. 40, p. 669–674, 2009.
  - 14 BRAGA, R. A., Análise da utilização de fibras naturais aglutinadas com resina epóxi, para fabricação de uma cobertura central do porta-malas de automóvel de passageiros. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica, Pontifca Universidade Católica de Minas Gerais. 2010.
  - 15 HU, R.; SUN, M.; LIM, J. Moisture absorption, tensile strength and microstructure evolution of short jute fiber/polylactide composite in hygrothermal environment. Materials and Design, n. 31, p. 3167–3173, 2010.
  - 16 SILVA, I.L.A. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. Tese de doutorado. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF. Campos dos Goytacazes – RJ. 2014.
  - 17 RAY, D.; SARKAR, B. K.; BOSE, N. R. Impact fatigue behaviour of vinylester resin matrix composites reinforced with alkali treated jute fibers. Composites Par A. v. 33, p. 233-241, 2002.
  - 18 RODRIGUEZ, E. S.; STEFANI, P. M.; VAZQUEZ, A. Effect of fibers alkali treatment on the resin transfer molding processing and mechanical properties of jute vinylester composites. Journal of Composites materials. v. 41, p. 1729- 1741, 2007.
  - 19 SAHA, P.; MANNA, S.; CHOWDHURY, S. R.; SEN, R.; ROY, D.; ADHIKARI, B. Enhancement of tensile strength of lignocellulosic jute fibers by alkali-steam treatment. Bioresource Technology, n. 101, p. 3182-3187, 2010.
  - 20 PANTAMANATSOPA, P.; ARIYAWIRIYANAN, W.; MEEKEAW, T.; SUTHAMYONG, R.; ARRUB, K.; HAMADA, H. Effect of Modified Jute Fiber on Mechanical Properties of Green Rubber Composite. Energy Procedia, n. 56, p. 641 – 647, 2014.
  - 21 ASTM D 638 – 89. “Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric).” Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
  - 22 RODRIGUES, J. S. Estudo da técnica de infusão de resina aplicada à fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras naturais da Amazônia. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2014.